

地域課題解決支援事業

佐賀海苔の「美味しさ」の可視化

中原啓太

はじめに

方法

表1 乾海苔等級表 (一部抜粋)

一、規格									
事項	優等	特等	一等	二等	三等	四等	五等	六等	七等
品質	原藻及び抄き方 優秀なもの	原藻及び抄き方 優良なもの	原藻及び抄き方 良好なもの	原藻及び抄き方 普通なもの	二等品に 及ばない もの	三等品に 及ばない もの	四等品に 及ばない もの	五等品に 及ばない もの	六等品に 及ばない もの
色沢	黒褐色濃く 光沢優秀 なもの	黒褐色濃く 光沢優良 なもの	黒褐色濃く 光沢良好 なもの	黒褐色濃く 光沢普通 なもの	同上	同上	同上	同上	同上
香味	優秀なもの	優良なもの	良好なもの	一等品に 及ばない もの	同上	同上	同上	同上	同上
二、品種の区分									
品 種	定 義								
推	初摘みのもので味、焼色共に普通等級より良好と思われるもので三等迄とし、支所が責任を持って推奨できるもの。 出荷制限日・・・各支所1.5割程度の生産者が摘採を行った日を基準日として、翌日から3日間までとする。								
味推	「推」等級の対象品から更に味検査を実施して選抜したもので、三等迄とする。								
老	入札会を問わず秋芽・冷凍網の1回摘みのもの。普通、黒、○等級のみ四等までとし、B、重、軽、大○、ク等級は三等までとする。								
黒	普通等級と同程度又は、それ以上の黒味を有するが、光沢が不足しているもので、四等迄とする。								
B	破れ、縮み等の軽微なものが混入しているもの(黄色結束紙)。								
重	重過ぎ、厚過ぎのもの。(入札区分で定めた重量範囲を越えるもので450g迄とする)								
軽	軽過ぎ、薄過ぎのもの。(入札区分で定めた重量範囲未満のもので260g迄とする)								
○	穴あきのもものが混入しているもの。 初○等・初大○等については、推の期限日以内で三等迄とする。 初○等・初大○等・老○等・老大○等は普通等級及び黒等級とする。								
ク	原藻痛み、乾燥等によるくもりの軽微なもので、七等迄とする。								

ノリ養殖は、秋芽網期と冷凍網期の2期作で行われており、育苗期に生産したノリ網の一部は乾燥後に冷凍保存される。色落ちしたノリは水分保持性が高く乾燥しにくいといわれており、冷凍後に出庫するとノリ葉体の傷みにより生産不能となることもある。一方で、入庫時のノリの水分含量と色落ちの程度との関係については十分に解明されていない。また、乾海苔の品質は「ロどけ」や「食感」によって評価されるが、これらの品質特性とノリ葉体の微細構造との関係についての知見は少ない。特に乾海苔製造後の葉体構造の観察は困難であり、構造的特徴を直接評価した研究は限られている。そこで本研究では、放射光マイクロCTおよび蛍光X線顕微鏡を用いて入庫時のノリの水分含量と色落ちの程度との関係と乾海苔および焼き海苔の微細構造および元素分布を可視化し、海苔の等級、食感および色落ちとの関係を明らかにすることを目的とした(表1)。

測定は九州シンクロトン光研究センターのBL07でX線CTを用いて行った。X線のエネルギーは10keV前後とし、単色器：Geコンパクトモノクロの条件でCT画像の測定を行った。検出器は、Kenvy2(蛍光体：CsI 1000µm、対物レンズ：x5倍、画素数：2048×2048、視野：2.6×2.6mm、画素サイズ：1.3µm)を使用し、露光時間：1~1.6秒/枚、投影数：1000または2000枚/360度、クライオ温度：-80度で計測した。

ノリのほどけ方確認試験

焼き海苔を2mm径の測定チューブに入るよう短冊状にカットし、チューブ内に焼き海苔が浸かる程度の純水を入れた。10秒、30秒、90秒、180秒、焼き海苔を純水に浸漬させ、すみやかに液体窒素で凍結させた。クライオX線CTにて凍結させた状態のまま焼き海苔の変化を観察した。どのようにほどけるのか評価するためにCT像から高密度な箇所につい

て海苔の密度を測定し、浸漬10秒時の密度を基準とした密度低下率 R を算出した。密度低下率は次式により求めた。

$$R = (D10 - Dt) / D10$$

R は密度低下率、D10 は浸漬10秒後の海苔の密度、Dt は t 秒後の海苔の密度を表す。

また、得られたCT像について、目視で判別可能なCT像30枚(海苔片3枚分)について重なっているノリ葉体の層数をカウントし、層数の比較も実施した。

蛍光 X 線顕微鏡による海苔表面の観察

焼き海苔を約2cm角に切り出し、測定ステージ上に両面テープを用いて固定した。測定はBL07の放射光 X 線を利用した蛍光 X 線顕微鏡により実施した。入射 X 線を試料表面に照射し、試料中の元素から放出される蛍光 X 線を検出することで、元素分布を二次元的に可視化した。測定視野は約0.8mm×0.8mmとし、試料表面を走査することにより元素マッピングを取得した。測定対象元素は P、S、Cl、K、Ca、Fe とした。試料には令和6年度生産の乾海苔(鹿島推上3、鹿島壱2、芦刈5、鹿島6、芦刈A5)を用い、等級の異なる海苔について表面元素分布の比較を行った。

色落ちレベル別、水分量別のノリの傷み耐性試験

生ノリ葉体を5mm径で生検トレパン(5mm、カイインダストリーズ株式会社、BP-60F)を用いて数か所くりぬき、傷みが5%以下の葉体を生物顕微鏡にて選別後、水分計((株)オガ電子、MDRX-1)にて水分量を測定し、測定チューブに3枚の生ノリ葉体を収容した。クライオ X 線 CT にて-30℃に葉体を凍結し測定した。生ノリ葉体を10℃の海水にて解凍し、蛍光マイクロスコープ(AnMo Electronics 社、DINORK10)にて蛍光画像を撮影し、傷み面積割合を目視判定した。CT画像と判定した傷み面積割合を比較し、CTによる傷み判定が可能か検討した。試験に用いた生ノリは、有明海佐賀県海域にて入手され、有明水産振興センターにて色落ちの基準を定めた色落ち判定カードに従い、色落ち判定されたノリを用いた(表2)。色落ち判定は、レベル1、2、2.5、3、4の5段階であり、レベル2が色落ち軽度、レベル4は色落ちが重度であることを示す。

表2 佐賀県有明海海域にて入手された生ノリの入手日と入手場所、色落ちレベル

結果及び考察

ノリのほどけ方確認試験

純水浸漬時間ごとの密度低下率について図1に示した。鹿島推上3、佐賀市1等、早津江ク6については、同様の密度低下傾向が確認されたが、芦刈A5は密度低下率が小さかった。芦刈A5以外のノリについては、30秒の浸漬で芦刈A5よりも大きく密度が低下していたため、ほどけやすいと考えられた。そのため、鹿島推上3、佐賀市1等、早津江ク6の海苔については、口に入れるとくちどけを感じることができ、芦刈A5については、くちどけが感じられない硬い海苔であると示唆された。

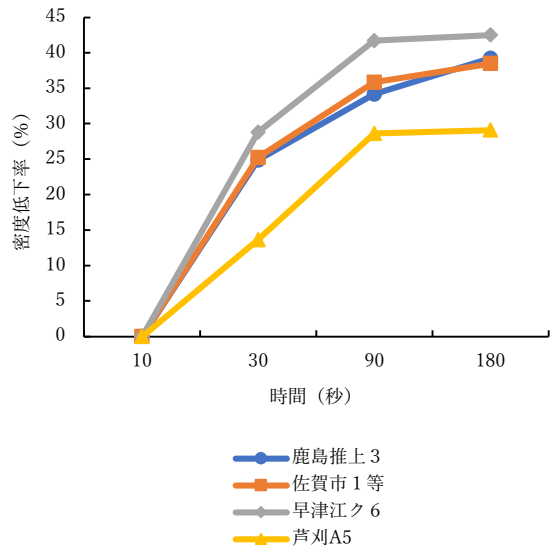


図1 純水浸漬時間ごとの密度低下率

ノリ葉体の層数について、図2に示した。ノリ葉体の層数は、10~25枚とばらつきがあった。鹿島推上3の層数のみ他の等級の海苔より有意に層数が多い結果となった(p < 0.05)。推等級の海苔は美味しいといわれる初摘採の海苔で、漁協が認めたノリにのみ与えられる等級である。美味しい海苔の葉体は細胞壁が薄くノリの厚みが薄いといわれている。

漁場調査日	有区	地区	色落ちLv.
R7.12.4	1257	七浦	1.0
R8.1.8	1237	竜王	2.0
R8.1.7	1243	鹿島	2.5
R7.12.24	1257	七浦	3.0
R8.1.7	1257	七浦	4.0

R6 年度試験では、乾ノリの葉体の厚さは等級別で変わらな
いとしていたが、推等級の海苔は調べていない。鹿島推上3
の海苔は、優れた品質の海苔であるため、葉体が薄く層数が
多くなったと示唆された。

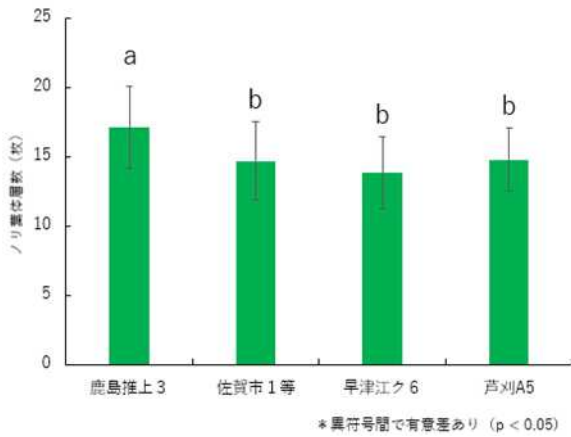


図2 ノリ葉体の層数

蛍光 X 線顕微鏡による海苔表面の観察

乾海苔表面の元素量を示した画像について図3に示した。
画像が白いほど元素量が多いことを表す。P、Cl、K、Caにつ
いては、等級別で明確な差は確認されなかった。SとFeにつ
いては、等級が高いほど元素量が多い傾向にあった。

令和6年度の測定にて低い等級の海苔で観察された白色
の結晶について、塩(NaCl)の析出であると考えられたが、Cl
について等級別に差が確認されなかった。今回の測定は、焼
き海苔の任意の箇所での0.8mm角の範囲での測定であったた
め、結晶がない箇所を測定した可能性はあるが、塩の析出で
はなく別の物質である可能性についても考えられた。

CaとP、Kについては、有明海に豊富に含まれているため、
差が出なかったと考えられる。

色落ちしたノリほど、硬さの原因物質である硫酸基を有す
るガラクトースを主成分とする多糖(ポルフィラン)が多い
といわれている。しかしながら、本試験では、ノリ表面のS
は、等級が高い海苔ほど多い結果となった。XAFS測定にてS
のK端のスペクトルが等級の高い海苔と等級の低い海苔で
異なっており、硫酸基の構造も異なっていると考えられて
いる(瀬戸山未発表)。そのため、ポルフィランは品質によ
って特性が異なるため、等級の高い海苔でノリ表面に多く、等

級の低い海苔でノリ内部に多く存在している可能性が考
えられた。

Feについては、ノリの光合成色素の合成に必須な元素で
あり、鉄が不足するとクロロフィルやフィコビリンの生産量
が減少し、色落ちにつながるといわれている(張ら, 2009)。
有明海の主要な色落ちの原因はDINの不足によるものが主
な原因とされているが、Feの不足が色落ちの原因の1つと
なった可能性についても示唆された。

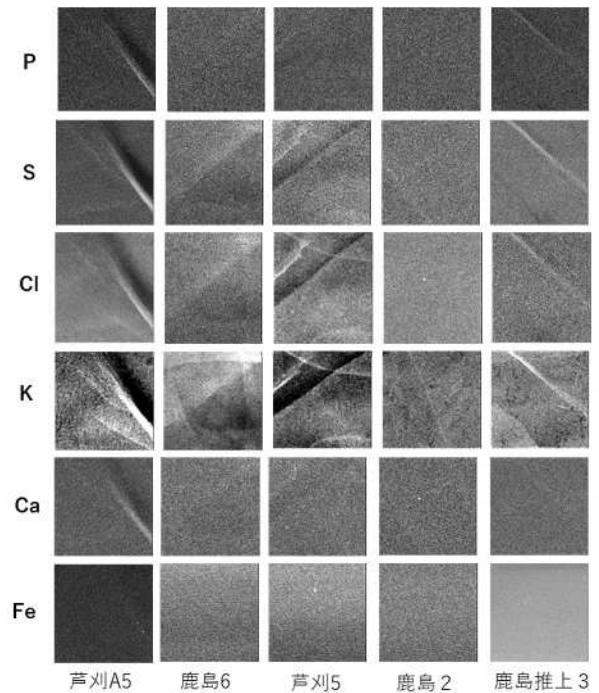


図3 乾海苔表面の元素量 (0.8mm×0.8mm)

色落ちレベル別、水分量別のノリの傷み耐性試験

図4にマイクロCT像と蛍光マイクロスコープにより傷み
を判定した色落ちLv.1とLv.4の生ノリの画像を示した。表
3に色落ちレベル別、水分含量別の生ノリについて蛍光マイ
クロスコープにより観察した傷み面積割合を示した。マイク
ロCT像を確認したところ、傷んだノリは、氷結晶により、
細胞が傷つくことによってノリの細胞がはっきりと観察さ
れ、表面が粗く観察された。傷みの割合が小さいノリにつ
いては、表面が滑らかな様子が確認された。

マイクロCT像による傷み判定については、Lv.3とLv.4

のノリについては、傷んでいないノリでも粗く見えたため、マイクロCT像による傷み判定はLv. 2.5 までのノリが限度であると考えられた。

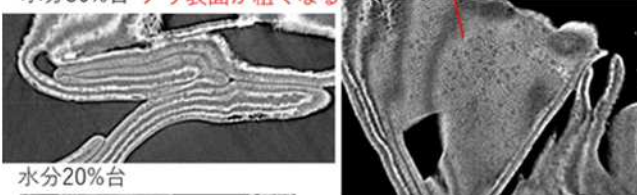
水分量 30%の生ノリについては、すべての色落ちレベルの生ノリで傷みの割合が高かった。水分量 20%の生ノリでは、Lv. 1 と Lv. 3 の生ノリで傷みの割合が高かったが、それ以外の色落ちレベルでは傷みの割合が低かった。水分含量 10%の生ノリでは、Lv. 4 の生ノリで傷みの割合が高かった

色落ちLV.1

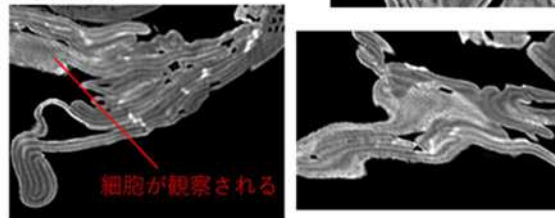
マイクロCT像

水分30%台 ノリ表面が粗くなる

細胞が観察される

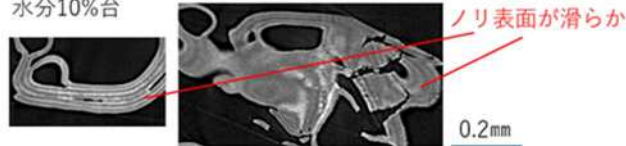


水分20%台



細胞が観察される

水分10%台



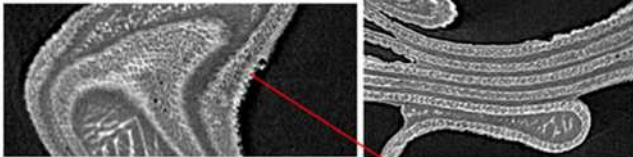
ノリ表面が滑らか

0.2mm

色落ちLV.4

マイクロCT像

水分30%台

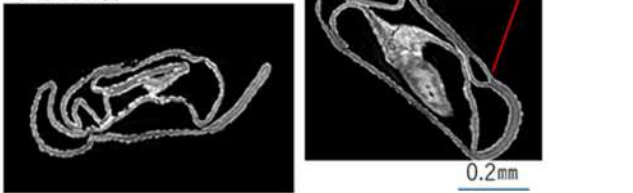


水分20%台



ノリ表面が粗い

水分10%台



0.2mm

が、それ以外の色落ちレベルでは、傷みの割合が低かった。

水分量 20%でも傷む生ノリがあったため、冷凍入庫する際には水分量 10%台を目安にすることが重要であると考えられる。

色落ちするほどノリが乾きづらくなり、傷みやすいといわれているが、Lv. 4 の生ノリでは乾いているにも関わらず、傷みの割合が高かった。今回用いた水分計は生ノリ内部の水分量も加味するものであるため、ノリの液胞内に水分が残っ

蛍光マイクロスコブによる傷み判定

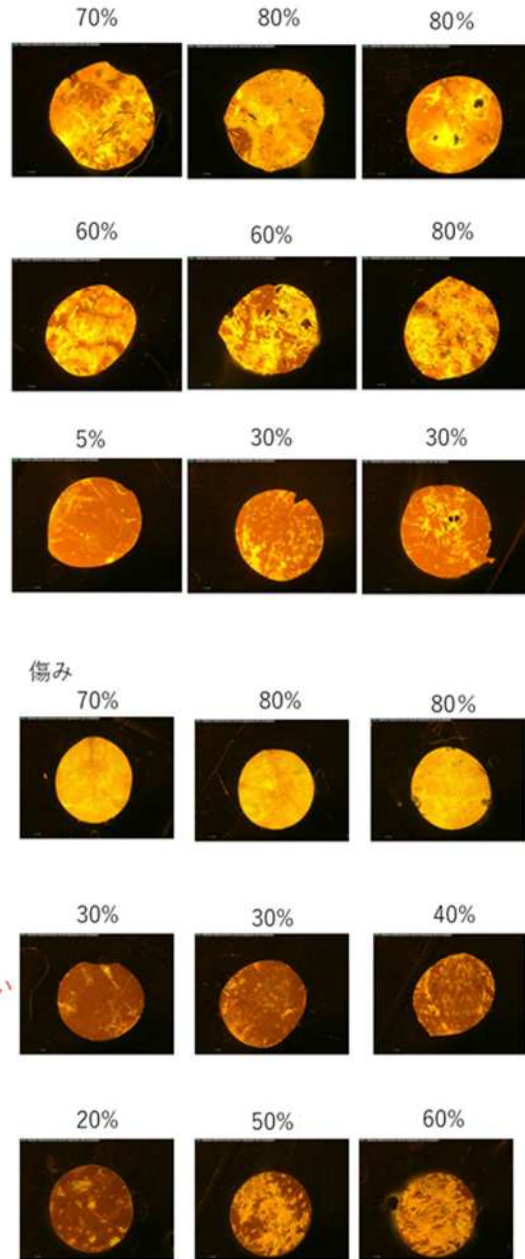


図4 マイクロCT像と蛍光マイクロスコブにより撮影した色落ちLv.1とLv.4の画像

ていたことは考えにくい。そのため、色落ちによるダメージによる機能不全によって冷凍に耐えられなかったと考えられる。色落ちしたノリは入庫が難しいといわれているが、本試験より色落ちLv.3を目安にし、Lv.4のノリの入庫は避けるべきであると考えられた。

**表3 色落ちレベル別、水分含量別の生ノリについて蛍光
マイクروسコープにより観察した傷み面積割合**

色落ちレベル	水分量 (%台)	マイクروسコープによる傷み面積 (%)		
1	30	70	80	80
	20	60	60	80
	10	5	30	30
2	30	90	90	90
	20	20	30	30
	10	20	20	30
2.5	30	10	30	70
	20	30	30	40
	10	10	30	30
3	30	90	100	100
	20	50	50	50
	10	10	10	20
4	30	70	80	80
	20	30	30	40
	10	20	50	60

参考文献

張経華・佐藤友規・丸山亮馬・高尾雄二・畝中佑・藤田雄二・山崎素直 (2009) : 有明海のノリの色落ちと微量元素欠乏一特に鉄欠乏について. 日本海水学会誌, 63, 158-166.